车载用第 5 代 IPS “F5202H”

“F5202H” 5th-Generation Intelligent Power Switch for Automotive Applications

岩田　英树 IWATA, Hideki　　丰田　善昭 TOYODA, Yoshiaki　　中村　贤平 NAKAMURA, Kenpei

近年来，随着汽车电动化，电子控制系统规模变大，对各部件的小型化与高散热化要求越来越高。针对这些要求，富士电机开发了车载用第 5 代 IPS “F5202H”。该设备搭载了可高精度检测负载电流的运算放大器，通过使用三重扩散结构器件，在维持基本功能的前提下，比传统芯片尺寸减少了 45%。另外，通过采用有助于小型化与高散热化的 SON 封装，封装面积削减了 45%、热阻降低了 80%。同时，考虑到要搭载在发动机室内恶劣的环境中，本设备满足车载集成电路（IC）的可靠性标准 AEC-Q100。

As automobiles have been electrified, their electronic control system is becoming large scale. This has increased the demand for miniaturization and high heat dissipation in system components. It is against this backdrop that Fuji Electric developed the “F5202H” 5th-generation intelligent power switch (IPS) for automotive applications. The F5202H comes with an operational amplifier that detects load currents with high accuracy, and utilizes a device with a triple-diffused structure. As a result, it has reduced a chip size by 45%, while maintaining the same basic functions. Furthermore, it uses a small outline non-leaded (SON) package to contribute to miniaturization and high heat dissipation, reducing the package size by 45% and thermal resistance by 80%. The F5202H is designed to be used in the harsh environments of engine compartments and complies with the AEC-Q100 reliability standard for automotive electronic components.

1　引言

现在，在汽车的电动化、自动化、IT 化潮流之下，电子控制系统的大规模化正在推进。因此，需要不断推进系统搭载部件的小型化，并增强其高散热能力。另外，在电动车增加的环境下，搭载了内燃机发动机的混合动力汽车（HEV: Hybrid Electric Vehicle）和充电式混合动力汽车（PHV: Plug-in Hybrid Vehicle）等汽车的销量也呈现出增长趋势。

富士电机开发、量产了由发动机与传动装置等构成的动力传动液压控制系统的电磁阀、废气再循环（EGR:Exhaust Gas Recirculation）系统的电机等，对驱动负载的电流进行导通与关断控制的 IPS（Intelligent Power Switch）产品。将用于输出段的纵向功率 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）和用于控制保护电路的横向功率 MOSFET 集成在同一芯片上。在这些电路的基础上，为了提高燃料效率和减少废气，开发并量产了内置高精度负载电流检测用运算放大器的 IPS[1]。

这次，富士电机开发了有助于电子控制系统进一步小型化、高散热化的车载用第 5 代 IPS “F5202H”，下面对其内容进行介绍。

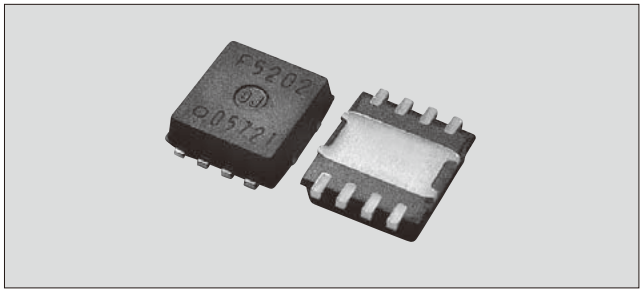

图 1　“F5202H” 的外观

2　产品特点

F5202H 的外观如**图 1** 所示，与传统产品封装内部结构的比较如**图 2** 所示。如**图 2**(b)所示，采用 SOP（Small Outline Package）封装的传统产品 “F5106H[1]”，其引线部分为鸥翼结构，左右凸出。另一方面，如**图 2**(a)所示，采用 SON（Small Outline Non-leaded）封装的本产品 F5202H，同时具有与封装背面平行配置的扁平引线结构和

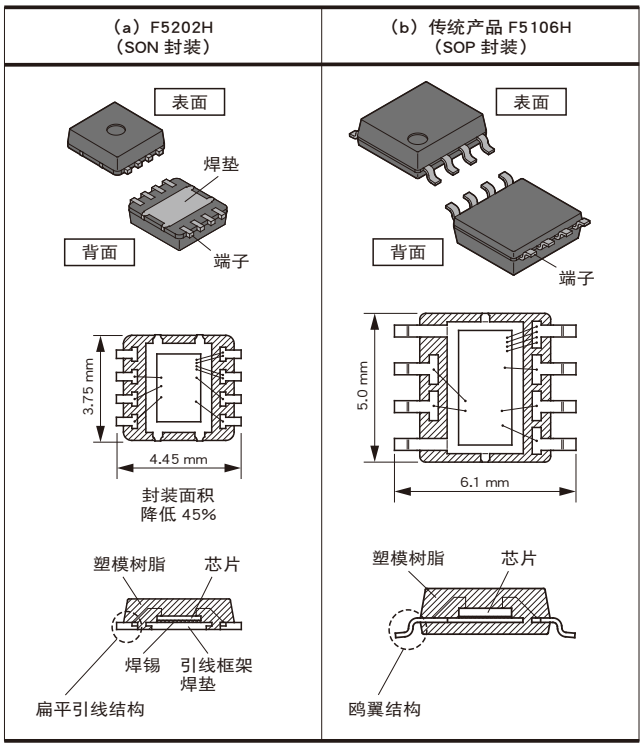

图 2　封装的外观与内部结构的比较

端子伸出长度最小化的非引线结构的特点。另外，背面露出了搭载芯片的焊垫。因此，F5202H 与传统封装相比更小巧，可削减安装面积。另外，因搭载芯片的焊垫在背面露出，所以与基板连接后的散热性大幅提高。

电路框图如**图 3** 所示，使用例如**图 4** 所示。通过以下介绍的特点和设计，F5202H 在维持传统产品所具有的高电流检测精度等电气特性的同时，使芯片小型化。

(a) 采用第 5 代 IPS 器件与工艺技术，在维持电气特性的基本性能的基础上，实现了控制与保护电路，特别是运算放大器单元的小型化，芯片尺寸比传统产品削减了 45%。

(b) 通过搭载在面积小且散热性卓越的 SON 封装上，与传统产品相比，封装面积削减了 45%，同时热阻降低了 80%。

(c) 考虑到要搭载在温度环境恶劣的发动机室，接合部温度 T_{vj} 的最大额定值为 175 ℃。同时，满足车载集成电路 (IC) 的可靠性标准 AEC-Q100〈注〉。

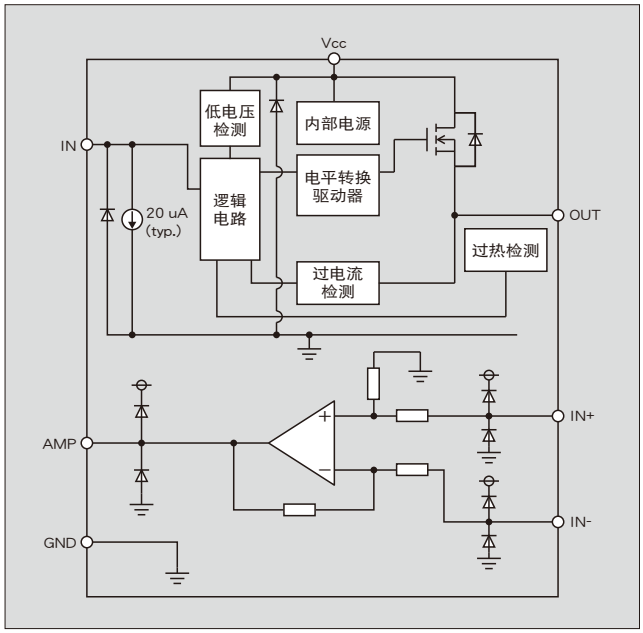

图 3 “F5202H”电路框图

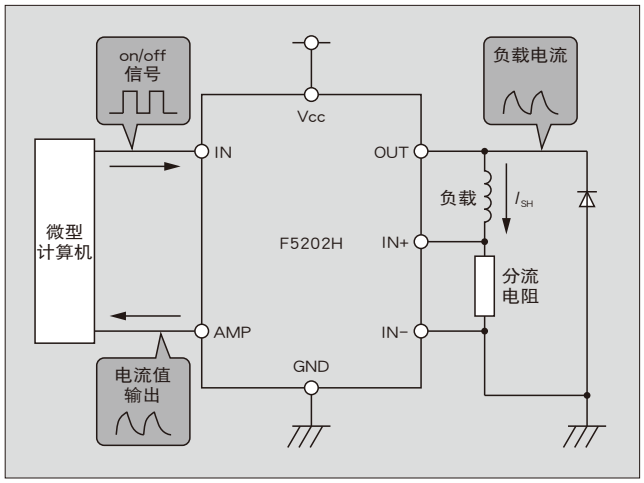

图 4 “F5202H”的使用例

(d) 内置高精度运算放大器 (**图 3**)，可在液压阀等控制对象中流动的负载电流为 1 A 时以 ±3.1% 的精度进行检测。如**图 4** 所示，通过将外置分流电阻的两端电位连接至运算放大器输入端，并将由运算放大器放大的电压输出至微型计算机，可构建监视负载电流的电子控制系统。

(e) 可在电源电压 4 V 下进行低电压动作。

(f) 内置系统异常的保护功能 (低电压检测、过电流检测、过电流模式下输出电流振荡、过热检测)，防止元件损坏。

(g) 内置低阻抗浪涌吸收用齐纳二极管，确保了高 ESD (Electrostatic Discharge) 耐量。

通过以上设计，F5202H 提高了封装的小型化和散热性，可为电子控制系统的进一步小型化与高散热化做出贡献。

3 电气特性

3.1 IPS 单元与运算放大器单元的电气特性

IPS 单元的电气特性如**表 1** 所示，运算放大器单元的电气特性如**表 2** 所示。虽然 F5202H 实现了小型化，但仍然具有与传统产品 F5106H 同等的电气特性。

3.2 运算放大器单元

通过负载电流 I_{SH} 流过分流电阻 R_{SH} 时的电压降，来检测流过负载的电流。在运算放大器中，该电压降部分作为运算放大器输入电压 V_{IN+} 输入并放大至 8 倍，作为输出电压输出。电流检测精度高，例如，在 I_{SH}=1 A (R_{SH}=0.25 Ω) 的时候，监控负载电流精度可达 ±3.1%。通常，运算放大器小型化会导致精度变差。但是，此次虽然进行了小型化，但通过实施以下 3 个项目，在 −40～+175 ℃大的温度范围内确保了与传统产品同等水平的电流检测精度。

(a) 如**第 4 章**所述，运算放大器的差动放大单元未采用第 4 代技术的中耐压横向 p 通道 MOSFET (PMOS)，而采用了第 5 代 IPS 器件与工艺技术，即具有三重扩散结构的低耐压横向 p 通道 MOSFET。利用该第 5 代技术，可将构成差动放大单元的 MOSFET 组进行临近配置，因此可在维持高电流检测精度的基础上，使芯片小型化。

(b) 差动放大单元采用共质心布局，降低了电流检测精度的偏差。

(c) 重新对校正检测电流精度偏差的矫正电路进行了改进，削减了测试端子数量和解码电路。由此，实现了芯片小型化。

〈注〉AEC：Automotive Electronics Council 的缩写，车载用电子部件的标准化团体。Q100 是集成电路 (IC) 部件分类相关标准。

表 1　IPS 单元的电气特性

项目	符号	条件	标准值			单位
			min.	typ.	max.	
运行电源电压	V_{cc}	V_{cc}＝降低时	3.6	—	16	V
		V_{cc}＝上升时	3.8	—	16	V
低电压检测	UV_1	V_{IN}＝5 V、V_{cc}＝降低时	—	3.0	3.6	V
低电压复位	UV_2	V_{IN}＝5 V、V_{cc}＝上升时	—	3.2	3.8	V
静止电源电流	$I_{cc\ (L)\ 1}$	V_{IN}＝0 V、R_L＝10 Ω	—	0.26	0.8	mA
输入阈值电压（有滞后现象）	V_{IN}	V_{cc}＝4.5～16 V、R_L＝10 Ω	1.5	—	2.8	V
输入电流	$I_{IN\ (H)}$	V_{IN}＝5 V	—	20	—	μA
导通电阻	$R_{DS\ (on)}$	T_{vj}＝25 ℃、I_{OUT}＝1.5 A	—	0.08	—	Ω
		T_{vj}＝175 ℃、I_{OUT}＝1.5 A	—	0.17	—	Ω
过电流检测	I_{OC}	V_{cc}＝13 V、V_{IN}＝5 V	2	—	7	A
过热检测（有滞后现象）	T_{trip}	V_{IN}＝5 V	175	—	207	℃
开通时传递延迟时间	T_{ACCON}	V_{cc}＝13 V、V_{IN}＝5 V-0 V R_L＝10 Ω	—	10	—	μs
关断时传输延迟时间	T_{ACCOFF}		—	20	—	μs
开通时间	T_{on}		—	20	—	μs
关断时间	T_{off}		—	10	—	μs

★如果没有特别说明，则 T_{vj}＝-40～+175 ℃、V_{CC}＝8～16 V。

表 2　运算放大器单元的电气特性

项目	符号	条件	标准值			单位
			min.	typ.	max.	
电源电压波动抑制比	PSRR	DC	80	—	—	dB
AMP 输出电压范围	V_{OH}	R_{AMP}＝50 kΩ	0	—	5	V
AMP 输出钳位电压	V_{ACL}	R_{AMP}＝50 kΩ	5	—	7	V
AMP 输出电流	I_{AMP} (SOURCE)	V_{IN+}＝375 mV 时 V_{AMP}=V_{OAMP} V_{AMP}＝0.977*V_{OAMP}	−10	—	−0.1	mA
	I_{AMP} (SINK)	V_{IN+}＝375 mV 时 V_{AMP}=V_{OAMP} V_{AMP}＝1.023*V_{OAMP}	0.1	—	10	mA
AMP 压摆率	SR	R_{AMP}＝50 kΩ V_{IN+}＝0.625 V	—	0.9	2	V/μs
增益	G	—	—	8	—	倍
电流检测精度 1	I_{sns5}	V_{IN+}＝250 mV R_{AMP}＝50 kΩ	−3.1	—	3.1	%
电流检测精度 2	I_{sns11}	V_{IN+}＝250 mV　V_{cc}＝14±1 V R_{AMP}＝50 kΩ　T_{vj}＝25 ℃	−2.1	—	2.1	%
正常运行时 AMP 输出电压范围	V_{OAMP}	V_{IN+}＝12.5～375 mV V_{CC}＝4～16 V	0.053	—	3.947	V
	V_{OAMP0}	V_{IN+}＝0 mV V_{CC}＝4～16 V	−0.053	—	0.053	V

★如果没有特别说明，则 T_{vj}＝-40～+175 ℃、V_{CC}＝8～16 V。

4　第 5 代 IPS 器件与工艺技术

4.1　技术概要

传统产品使用第 4 代 IPS 器件与工艺技术[2),3)]，主要是将输出段功率 MOSFET 从平面型栅变更为沟槽型栅，使芯片小型化。F5202H 通过应用第 5 代 IPS 器件与工艺技术，采用具有三重扩散结构的低耐压横向 p 通道 MOSFET 和 PIP（Polysilicon-Insulator-Polysilicon）电容元件，使控制电路小型化。

4.2　低耐压横向 p 通道 MOSFET（PMOS）

第 4 代 IPS 器件与工艺技术如**图 5**(b)所示，PMOS 使用了 n⁻基板作为背栅层，因此背栅电位必然固定于纵向沟槽 MOSFET 的漏极电位（电子控制系统的电池电位），导致背栅与各节点之间施加了高电压。因此，第 4 代 IPS 的运算放大器等电路中需要在各节点采用具有高耐压结构的中耐压 PMOS，以承受该高电压，从而导致了电路面积的增加。

因此，在第 5 代 IPS 器件与工艺技术中开发了三重扩散结构的低耐压 PMOS。通过三重扩散结构的 p 层，形成了在背栅和各节点之间无法施加高电压的结构，因此使用小型低耐压 PMOS 代替了传统的中耐压 PMOS，可缩小电路

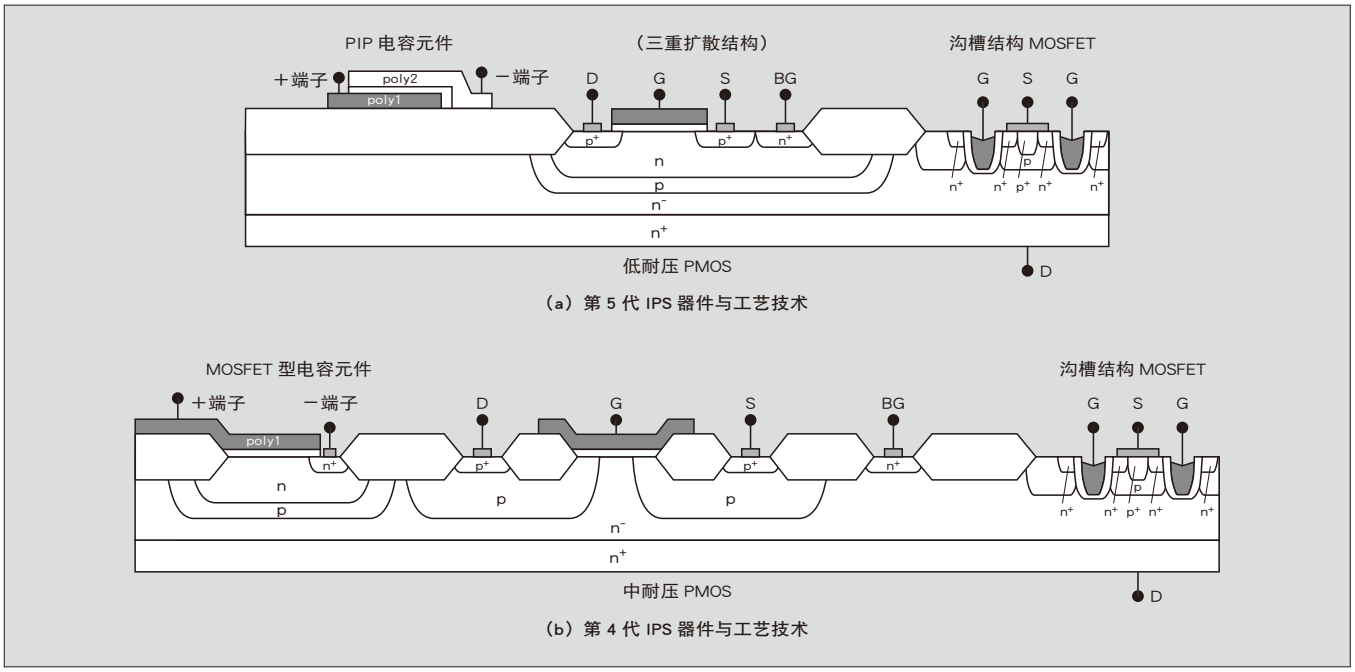

图 5　运算放大器与输出段的主要器件与工艺技术的比较

面积。

4. 3　三重扩散结构

在三重扩散结构中，需要形成比传统产品更深的扩散层，以确保扩散层间的耐压。在第 5 代 IPS 器件与工艺技术中，优化了离子注入的加速电压，从而无需变更传统第 4 代 IPS 器件与工艺技术的热处理条件即可形成深扩散层。因此，对于与传统第 4 代 IPS 相比没有变化的器件，也可在维持特性的基础上，用于第 5 代 IPS。结果，将传统产品规格的变更控制在最小限度，替换更简单。

4. 4　PIP 电容元件

作为实现所需运算放大器特性不可缺少的电容元件，以往使用的是 MOSFET 型电容元件。但是，该电容元件需要护环结构，而且电容会随施加的电压而变，所以需增大元件面积。

第 5 代 IPS 器件与工艺技术通过提高绝缘膜厚度的优化和控制性，可使用无需护环结构、电容变动小且可以减小面积的 PIP 电容元件。其结果，是实现了 IPS 的小型化。

5　SON 封装

5. 1　基于 SON 封装的小型化、高散热化

F5202H 采用了 SON 封装。如**图 6** 所示，与传统产品 F5106H（SOP 封装）相比，封装面积减少了 45%。另外，因搭载芯片的焊垫（纵向沟槽 MOSFET 的漏电极）在背面露出，所以与基板连接时的散热性大幅提高，热阻降低了 80%。

5. 2　符合 AEC-Q100

考虑到要在发动机室内恶劣的环境中使用，F5202H

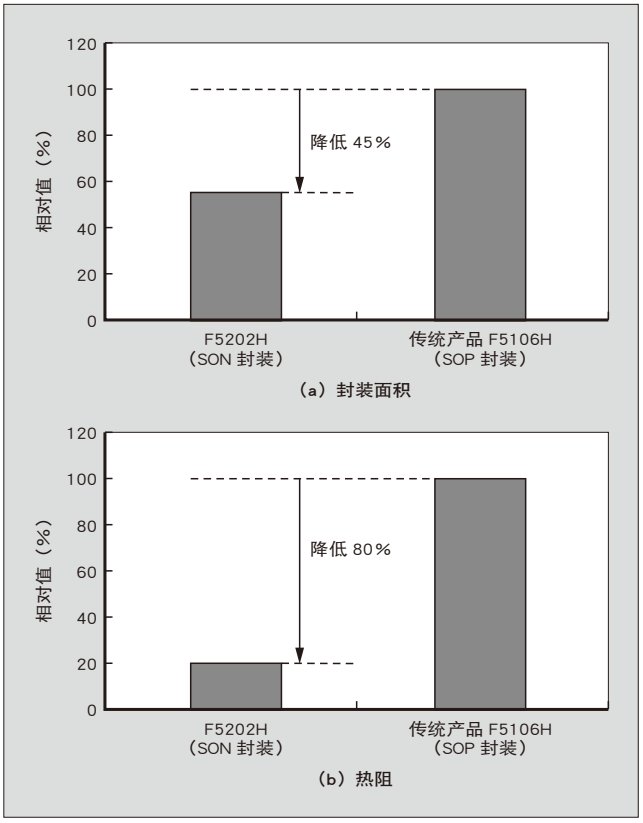

图 6　SON 封装与传统 SOP 封装的比较

的设备符合车载集成电路（IC）的可靠性标准 AEC-Q100。为确保热应力耐受性，满足温度循环试验和功率温度循环试验等标准，优化了芯片厚度、连接芯片和引线框架的焊料成分与厚度。

此外，考虑到了在高温环境下的长时间工作，保证 T_{vj} ＝175 ℃。为此，采用了高可靠性引线[4]，提高了引线与电极端子之间的接合界面的可靠性。

6 后记

本稿对有助于车载电子控制系统的小型化、高散热化的车载用第 5 代 IPS “F5202H” 进行了介绍。今后，富士电机将通过引进周边部件来减少部件数量等，进一步推进针对小型化、高功能化的举措，为汽车行业做出贡献。

参考文献

⑴ 中川翔ほか. ワンチップ リニア制御用 IPS「F5106H」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.4, p.273-276.
⑵ 鳶坂浩志ほか. 車載用第 4 世代 IPS「F5100 シリーズ」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.440-444.
⑶ Toyoda, Y. et al. “60 V-Class Power IC Technology for an Intelligent Power Switch with an Integrated Trench MOSFET” ISPSD -150. p.1472013.
⑷ 森泽由香等. 车载用高压侧型 2 in1 IPS “F5114H” 富士电机技术期刊. 2017, vol.C9, no.1, p.41-44.

岩田　英树
从事半导体器件的产品设计。现为富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装分立器件部主查。

丰田　善昭
从事半导体元件的开发和设计。现为富士电机株式会社电子元件事业本部开发统括部元件开发部主查。

中村　贤平
从事半导体器件的封装开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部开发统括部封装开发部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。